



Louis Bolk
Instituut

Stikstofbenutting van sorghum

Resultaten van 2 jaar bemestingsproeven

Maaïke van Agtmaal, Jan de Wit, Nick van Eekeren



Het project is gefinancierd door:

Provincie Noord-Brabant

© 2020 Louis Bolk Instituut

Stikstofbenutting van sorghum

Resultaten van 2 jaar bemestingsproeven

Dr. Ir. M. van Agtmaal, Ir. J. de Wit,

Dr. Ir. N.J.M. van Eekeren

Publicatienummer 2020-014 LbD

23 pagina's

Deze publicatie is beschikbaar via

www.louisbolk.nl/publicaties

www.louisbolk.nl

info@louisbolk.nl

T 0343 523 860

Kosterijland 3-5

3981 AJ Bunnik

 @LouisBolk

Louis Bolk Instituut: Onderzoek en advies ter bevordering van
duurzame landbouw, voeding en gezondheid

Inhoud

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
2 Stikstofbenutting van Sorghum in 2018	9
2.1 Inleiding	9
2.2 Materiaal en methode	9
2.3 Resultaten	10
2.2 Conclusies en perspectief	12
3 Stikstofbenutting van Sorghum in 2019	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Materiaal en methode	13
3.3 Resultaten	14
3.4 Conclusies en perspectief	15
4 Stikstofbenutting van Sorghum: vergelijking van 2 jaar bemestingsproeven	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Opzet onderzoek	17
4.3 Vergelijking resultaten 2018 en 2019.	17
4.4 Conclusies en perspectief	20
5 Conclusies en perspectief	21
5.1 Resultaten van de bemestingsproeven t.o.v. internationale literatuur	21
5.2 Perspectief en vervolgonderzoek	21
Referenties	23

Samenvatting

Sorghum is een gewas dat qua groeiwijze en teelt lijkt op maïs. Het heeft potentie als een aanvullend ruwvoergewas op melkveebedrijven naast gras en maïs. Het kan in rotatie met maïs geteeld worden en hiermee de nadelen van continue teelt maïs mogelijk voorkomen. Het gewas sorghum heeft twee typen, de zetmeeltypen (*Sorghum bicolor*) en de structuurtypen (*Sorghum sudanese*).

In dit onderzoek is de stikstofbenutting van sorghum onderzocht en is er ook gekeken naar de optimale bemesting van sorghum en het risico op nitraatuitspoeling. In zowel 2018 en 2019 is dit onderzocht in een bemestingsproef met twee typen sorghum en met maïs als referentiegewas.

De resultaten van de proeven in 2018 en 2019 laten een vergelijkbaar beeld zien. In beide jaren was de drogestof- en stikstofopbrengst in maïs het hoogst. Beide sorghum typen geven een geheel andere stikstofrespons: het zetmeeltype geeft geen of nauwelijks meeropbrengst bij hogere bemesting, het structuurtype geeft wel een stikstofrespons. Het structuurtype sorghum heeft daarnaast de laagste waarden voor reststikstof, ondanks de lagere stikstofopbrengst.

De resultaten van twee jaar bemestingsonderzoek bij sorghumteelt geven een indicatie van welke bemestingsniveaus passend zijn bij de teelt van sorghum. Hierin zijn er echter wel verschillen in sorghumtypen. De geteste structuurtypen geven een duidelijke stikstofrespons al lijkt de optimale bemesting lager te liggen als bij maïs. Het geteste zetmeeltype geeft weinig meeropbrengst bij een hogere bemesting, wel geeft deze onder stikstoflimitatie een goede opbrengst. Milieuaspecten zoals risico op nitraatuitspoeling na teelt van sorghum zijn ook type afhankelijk: de structuurtypen sorghum laten zeer weinig reststikstof in de bodem achter. Wat de effecten zijn van drijfmest op de stikstofbenutting van sorghum en op de reststikstof na de oogst blijft in dit onderzoek onderbelicht, vervolgonderzoek zal uit moeten wijzen of een meer geleidelijke beschikbaarheid van stikstof een effect heeft op de stikstofopbrengst.

1 Inleiding

Sorghum, een tropisch gewas dat zijn oorsprong vindt in Afrika, maakt langzaam zijn entree in Nederland. Het gewas kent een aantal eigenschappen die perspectief bieden: zo is het gewas van oorsprong minder droogtegevoelig dan mais en ook de ziekteresistentie van sorghum biedt perspectief. Het gewas is echter nog niet uitontwikkeld: de veredeling naar geschikte rassen die met name koudetolerant zijn is nog volop in ontwikkeling. Ook het onderzoek naar verschillende teeltaspecten is nog volop gaande. Onderdeel hiervan is de stikstofefficiëntie van sorghum en de daaraan gekoppelde vragen rondom optimale bemesting en uitspoelingsgevoeligheid van de teelt van sorghum in vergelijking met mais.

Uit de internationale literatuur zijn verschillende resultaten bekend van onderzoek naar bemesting bij sorghumteelt. Eén van de eigenschappen van sorghum is dat het gewas onder stikstoflimitatie en droogte een hoge biomassa geeft (Lemaire et al., 2006) en een efficiënte bodemopname heeft van stikstof door zijn wortelstelsel (Thivierge et al., 2016). Een ander onderzoek van Thivierge en co-auteurs (2015a) laat zien dat sorghum een hoge stikstofefficiëntie heeft: veel van de gegeven bemesting wordt omgezet in plantbiomassa. Dit komt onder andere doordat sorghum een lange vegetatieve groeifase heeft zodat er gedurende het hele groeiseizoen stikstofopname blijft plaatsvinden, zeker in de rassen voor biomassa en structuur. Het bemestingsoptimum is typeafhankelijk maar ligt over het algemeen lager dan bij mais, zo rond de 90 kg N per hectare (o.a. Thivierge et al 2015b). Naast dat sorghumsoorten in de internationale literatuur een hoge stikstofefficiëntie laten zien, kunnen ze ook veel stikstof opnemen in het gewas. Sorghum blijft namelijk stikstof opnemen, ook als dit niet wordt omgezet in biomassa, de zogenaamde luxe opname (Thivierge et al., 2015a, Barbanti et al., 2006).

Al deze verschillende eigenschappen van sorghum geven een indicatie dat sorghum een gewas is met potentie, zeker als klimaat- en milieuaspecten worden meegenomen. De teelt van sorghum kan de rotatie met maïs verruimen en nadelen van continu maïsteelt mogelijk voorkomen. Het gewas is echter nog volop in ontwikkeling en ook de teeltaspecten zijn nog in onderzoek: Wat de optimale bemesting is voor sorghumrassen die in Nederland geteeld kunnen worden en of sorghum weinig reststikstof achterlaat na teelt en daarmee minder risico geeft op nitraatuitspoeling is nog grotendeels onbekend. De afgelopen twee jaar is hier onderzoek naar gedaan. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van de resultaten van dit onderzoek in 2018 en 2019 en wordt er tevens een overall analyse gepresenteerd van het onderzoek naar de stikstofbenutting van sorghum.

2 Stikstofbenutting van Sorghum in 2018

2.1 Inleiding

Een belangrijk aspect van het lopende sorghumonderzoek is de stikstofefficiëntie. Het hier beschreven onderzoek richt zich op de stikstofbenutting van sorghum ten opzichte van maïs, op de vraag wat de optimale bemesting is voor sorghum en op het risico van nitraatuitspoeling bij de sorghumteelt. Mogelijk hebben de zetmeeltypen (rassen die meer nijken naar *Sorghum bicolor*) en structuurtypen (rassen die meer nijken naar *Sorghum sudanese*) een andere stikstofbenutting.

2.2 Materiaal en methode

Proefveld

Het proefveld bevond zich in Moergestel op zandgrond op een perceel met een geschiedenis van langjarig bouwland (>20 jaar, NLV van 43 kg N per ha). Rondom het proefveld werd maïs geteeld. Er zijn twee rassen sorghum (zetmeeltype (C7) en structuurtype (NutriHoney)) met maïs als referentie getest, bij drie verschillende niveaus van bemesting in vier herhalingen. Daarmee telde het proefveld 36 proefplotjes. Elk proefplotje was 3,5 meter breed en 5 meter lang, en telde 7 rijen (rijafstand 50 cm breed, zowel voor maïs als voor sorghum).

Zaaien

Op 23 mei 2018 werd met een precisie-handzaaimachine gezaaid op een diepte van 2 tot 3 cm. Rekening houdend met uitval en het kiemingspercentage, is 20% meer gezaaid dan de gewenste plantdichtheid. Vervolgens is na kieming handmatig teruggedund tot de gewenste plantdichtheid (110.000 planten per ha voor maïs en 225.000 per ha voor sorghum).

Bemestingstrappen

Voorafgaand aan de proef was het proefveld niet bemest. Na het zaaien werd er bemest in drie N-niveaus doormiddel van het breedwerpig strooien van KAS:

- 0 kg N per ha
- 70 kg N per ha
- 140 kg N per ha

Als aanvulling hierop is op alle plots in gelijke hoeveelheid kalisulfaat (600 kg per hectare) en TSP (40 kg per hectare) toegediend.

Onkruidbeheersing

Er zijn geen herbicide gebruikt, het proefveld is met de hand gewied.

Weersomstandigheden

Door het natte voorjaar en de zeer warme en droge zomer is het land relatief laat bewerkt en heeft de sorghum na inzaai tot eind augustus geen regen gehad. In deze periode is er drie maal beregend.

Oogst

Er is op 12 september 2018 geoogst. Per plot werden drie rijen van drie meter geoogst. Hiervan werd het aantal planten geteld (hoofdstengels en zijscheuten apart) en vers gewicht bepaald. Van iedere drie rijen van drie meter zijn willekeurig negen planten genomen, daarvan is na het hakselen een mengmonster genomen. Dit monster is bij Eurofins (Wageningen) geanalyseerd op droge stof (DS) gehalte, N gehalte in het gewas, VCOS (Tilley & Terry) en zetmeel (zetmeel enzymatisch).

N-mineraal in de bodem

De N-mineraalbepaling werd direct na de oogst op 12 september, per veld op drie dieptes in de bodem uitgevoerd: 0-30, 30-60, 60-90 cm. Het doel van deze bepaling was om de hoeveelheid minerale reststikstof in de bodem bij verschillende bemestingsniveaus en rassen te bepalen en onderling te vergelijken. Deze reststikstof vóór het winterseizoen is een maat voor de potentiële N-uitspoeling.

Statistische analyse

Met behulp van ANOVA werden effecten van gewastypen en bemestingsniveau's getest voor de drogestofopbrengst, stikstofopbrengst, N-mineraal in de bodem, en voederwaarde.

2.3 Resultaten

Tabel 2.1. Opbrengst en voederwaarde van twee sorghum typen en mais bij verschillende bemestingsniveaus

	Gewas	Mais			Sorghum bicolor C7			Sorghum sudanhybride NH			p-waarden		
		N gift (kg ha ⁻¹)	0	70	140	0	70	140	0	70	140	Gewas	N gift
opbrengst	Opbrengst (ton ds ha ⁻¹)	13,4	19,0	21,1	12,4	13,2	14,6	10,8	15,7	15,3	<0,001	<0,001	0,1
	% droge stof	32	36	36	29	28	29	28	29	29	0,002	ns	ns
& N-mineraal	N-mineraal (kg N ha ⁻¹)	19	21	31	18	26	59	10	12	29	<0,001	<0,001	0,018
	AEN kg ds meeropbrengst kg N ⁻¹	nvt	80	29	nvt	11	20	nvt	69	0	nvt	nvt	nvt
voederwaarde & verteerbaarheid	VCOS (%)	81	80	80	71	71	70	65	65	65	<0,001	ns	ns
	Zetmeel (g kg ds ⁻¹)	339	369	388	326	311	313	198	268	242	<0,001	ns	ns
	Suiker (g kg ds ⁻¹)	97	74	77	51	60	68	119	85	77	<0,001	ns	0,037
	Stikstofgehalte (g kg ds ⁻¹)	8	10	11	10	11	13	8	10	13	<0,001	<0,001	ns
N opbrengst	Stikstofopbrengst (kg N ha ⁻¹)	114	184	239	126	151	194	92	159	192	<0,015	<0,001	ns

Drogestofopbrengst

Mais had bij elk stikstofniveau de hoogste opbrengst. Extra stikstofbemesting van 70 of 140 kg N per ha had bij het zetmeeltype sorghum (ras C7) enkel 0,75 tot 2,2 ton meeropbrengst per hectare tot gevolg. Opvallend was dat er bij de structuurtype sorghum (ras NutriHoney, (NH)) een vergelijkbare opbrengst werd gehaald bij 70 kg stikstof per hectare als bij 140 kg per hectare.

Stikstofopbrengst

De stikstofopbrengst is berekend met de drogestofopbrengst en het stikstofgehalte van het geoogste gewas. De stikstofopname volgde in alle drie de gewassen het stikstofbemestingsniveau. Zonder stikstofbemesting had het zetmeeltype sorghum de hoogste stikstofopname in het geoogste gewas, gevolgd door maïs en het structuurtype sorghum. Bij het structuurtype sorghum was er geen verschil in drogestofopbrengst maar wel een verschil in stikstofopbrengst bij 70-140 kg N, wat erop duidt dat de opgenomen stikstof niet is omgezet in extra bovengrondse biomassa.

Meeropbrengst bij hogere stikstofbemesting

Om een schatting te hebben van de stikstofbenutting van de verschillende gewassen in deze proef hebben we de meeropbrengst per kilo stikstofbemesting berekend voor de verschillende bemestingsniveaus. Dit is AEN genoemd (Agronomic Efficiency of applied Nitrogen = verschil in opbrengst gedeeld door verschil in N bemesting). Op grond van de AEN gaf maïs de beste stikstofrespons met 80 kg droge stof meeropbrengst per kg stikstof bij stap 0-70 kg en 29 kg ds bij 70-140 kg N. Ook het structuurtype sorghum had een hoge stikstof efficiëntie bij 70 kg N bemesting, namelijk 69 kg ds per kg N, maar had geen meeropbrengst bij de stap 70 naar 140. Het zetmeeltype sorghum had een beperktere stikstof respons met 11 en 20 kg droge stof toename per kg N bij de stap 0-70 kg N en stap 70-140 kg N, respectievelijk.

N-mineraal

De N-mineraal gehalten gemeten bij de oogst volgden voor elk type de stikstofgift en bleven in alle gevallen onder de streefwaarde van 90 kg N-mineraal in de laag 0-90 cm die in België wordt gehanteerd. De hoogste waarden werden gemeten bij het zetmeeltype sorghum met 140 kg N bemesting. Dit is een indicatie dat bij het hoogste stikstofniveau relatief minder stikstof is opgenomen en omgezet in biomassa. De lage waarde bij het structuurtype sorghum voor N-mineraal in combinatie met een lagere opname in geoogste gewas kunnen een aanduiding zijn dat bij dit sorghumtype meer stikstof in wortelstelsel is opgenomen die niet is gemeten.

Voederwaarde: VCOS en zetmeelgehalte

Maïs had de hoogste verteringscoëfficiënt van de organische stof (VCOS), gevolgd door het zetmeeltype sorghum. De verteerbaarheid van het structuurtype sorghum was iets lager. De zetmeelgehalten volgen eenzelfde patroon, zowel maïs als het zetmeeltype sorghum hadden een hoog zetmeelgehalte (338-388 gram per kilo droge stof voor maïs en 310-325 gram voor het zetmeeltype sorghum). Het structuurtype sorghum had een grotere variatie in het zetmeelgehalte en daar lag het zetmeelgehalte met 198-268 gram per kg droge stof ook wat lager, zeker bij de onbemeste proefvelden.

2.4 Conclusies en perspectief

- Uit het eerste seizoen van dit onderzoek blijkt dat stikstofbenutting van sorghum ten opzichte van dat van maïs lager is.
- In hoeverre de droogte van afgelopen zomer hierin een rol heeft gespeeld moet uit vervolgonderzoek blijken.
- Het structuurtype sorghum heeft een hogere stikstofefficiëntie dan het zetmeeltype sorghum maar dit is alleen zichtbaar bij een stikstofgift van 70 kg.
- Het zetmeeltype sorghum heeft een hoger zetmeelgehalte en VCOS dan het structuurtype sorghum. Werkelijke verteerbaarheid in de pens moet in de toekomst met voedingsproeven worden vastgesteld.
- Het N-mineraal niveau in de bodem bij oogst is relatief laag met een uitschieter bij het hoogste N-niveau op het sorghum zetmeeltype.
- Vervolgstappen in de veredeling van sorghum hebben de uitdaging om de opbrengst en stikstofbenutting verder te verhogen.

3 Stikstofbenutting van Sorghum in 2019

3.1 Inleiding

Sorghum is een relatief nieuw gewas in Nederland. Het biedt perspectieven voor melkveebedrijven in de vruchtwisseling met onder andere mais. Naast veredeling vindt er onderzoek plaats naar de verschillende teeltaspecten van sorghum, zoals stikstofefficiëntie. Uit de wetenschappelijke literatuur zijn er aanwijzingen dat de stikstofefficiëntie van sorghum hoger is dan mais (Thivierge et al. 2015). Ook komt uit dit onderzoek naar voren dat er bij de teelt van sorghum veel stikstofopname is uit de bodem en weinig reststikstof na de oogst. Dit zou één van de perspectieven van sorghum kunnen zijn. Deze bemestingsproef is dan ook opgezet met als doel inzicht te krijgen op de stikstofbenutting van sorghum ten opzichte van mais en wat dit betekent voor het risico van nitraatuitspoeling bij de sorghumteelt in Nederland.

3.2 Materiaal en methode

Proefveld

De proef is aangelegd in Moergestel op zandgrond op een perceel met een geschiedenis van langjarig bouwland (>20 jaar). Rondom het proefveld werd mais geteeld. Er zijn twee sorghumtypen (een zetmeeltype (Sorghum bicolor, C7) en een structuurtype (Sorghum sundanhybride, Suzy)) met mais als referentie getest, bij drie verschillende niveaus van bemesting in vier herhalingen. Daarmee telde het proefveld 36 proefplotjes van 3,5 meter breed en 5 meter lang, en telde 7 rijen (rijafstand 50 cm breed, zowel voor mais als voor sorghum).

Zaaien

Op 16 mei 2019 werd met een precisie-handzaamachine gezaaid op een diepte van 2 tot 3 cm. Rekening houdend met uitval en het kiemingspercentage is 20% meer gezaaid dan de gewenste plantdichtheid. Vervolgens is 3 weken na kieming handmatig teruggedund tot de gewenste plantdichtheid (110.000 planten per ha voor mais en 225.000 per ha voor sorghum). Bij het zetmeeltype sorghum was door een koudeperiode na inzaai een hogere plantuitval dan verwacht en lag de plantendichtheid 10% lager dan de gewenste dichtheid van 225.000 planten per ha. Door uitstoeling van sorghum wordt een dergelijk verschil in dichtheid vaak later in het seizoen gecompenseerd.

Bemesting, onkruidbeheersing en weersomstandigheden

Voorafgaand aan de proef was het proefveld niet bemest. Na het zaaien werd er bemest in drie N niveaus (0, 60 en 120 kg N per ha) doormiddel van het handmatig strooien van KAS op twee tijdstippen: bij inzaai en 6 weken na opkomst (2 juli). Als aanvulling hierop is op alle plots in gelijke hoeveelheid kaliumsulfaat (200 kg per ha) en TSP (40 kg per ha) toegediend. Er

zijn geen herbiciden gebruikt, het proefveld is met de hand gewied. Door het koude voorjaar was de onkruiddruk hoger dan voorgaande jaren. Er volgde een zeer warme en droge zomer. In deze periode is er twee maal berekend.

Oogst

Er is op 30 september 2019 geoogst. Per plot werd 3 x 5 m rij geoogst met een proefveldhakselaar (de buitenste 2 rijen niet, om randeffecten uit te sluiten). Hiervan werd het vers gewicht bepaald. Van ieder proefplotje is een mengmonster genomen. Dit monster is bij Eurofins (Wageningen) geanalyseerd op droge stof (DS) gehalte, N totaal, VCOS (Tilley & Terry) en zetmeel (zetmeel enzymatisch).

N-mineraal in de bodem

De N-mineraalbepaling werd direct na de oogst op 30 september, per veld uitgevoerd in de laag 0-90 cm. Het doel van deze bepaling is om de hoeveelheid minerale reststikstof in de bodem bij verschillende bemestingsniveaus en rassen te bepalen en onderling te vergelijken. Deze reststikstof vóór het winterseizoen is een maat voor de potentiële N uitspoeling.

3.3 Resultaten

Drogestofopbrengst

Mais had bij elk stikstofniveau de hoogste opbrengst (zie Tabel 3.1). Extra stikstofbemesting gaf bij meer dan 60 kg N per ha geen meeropbrengst bij mais. Het zetmeeltype (ras C7) had geen meeropbrengst bij een hogere stikstofgift. Bij het structuurtype (ras Suzy) was er weinig verschil tussen 0 en 60 kg N per ha, 120 kg N per ha gaf wel duidelijk een meeropbrengst.

Tabel 3.1: Resultaten van opbrengst, N-mineraal, voederwaarde en N, P, K opbrengst

	Gewas	Mais			Sorghum bicolor C7			Sorghum sudanhybride Suzy			p-waarden		
		N gift (kg ha ⁻¹)	0	60	120	0	60	120	0	60	120	Gewas	N gift
opbrengst	Opbrengst (ton ds ha ⁻¹)	14,6	17,7	16,9	10,8	9,8	10,2	10,7	11,3	13,7	<0,001	<0,03	<0,03
	% droge stof	42	47	46	27	29	29	36	35	36	<0,001	ns	ns
& N-mineraal	N-mineraal (kg N ha ⁻¹)	34	47	53	32	56	76	27	38	34	<0,001	<0,001	<0,01
	AEN (kg ds meeropbrengst kg N ⁻¹)	nvt	52	0	nvt	0	0	nvt	10	40	nvt	nvt	nvt
voederwaarde & verteerbaarheid	VCOS (%)	77	77	77	66	68	68	60	58	60	<0,001	ns	ns
	Zetmeel (g kg ds ⁻¹)	432	457	449	296	310	317	133	98	145	<0,001	ns	ns
	Suiker (g kg ds ⁻¹)	35	27	33	56	56	56	71	81	68	<0,001	ns	ns
	Stikstofgehalte (g kg ds ⁻¹)	10	14	12	11	10	10	8	9	12	ns	ns	ns
N, P, K opbrengst	Stikstofopbrengst (kg N ha ⁻¹)	147	251	196	118	97	101	80	97	167	<0,01	<0,001	ns
	Fosfaatopbrengst (kg P ha ⁻¹)	30	33	30	17	15	17	18	13	19	<0,001	ns	ns
	Kali opbrengst (kg K ha ⁻¹)	127	133	137	150	134	148	138	146	169	ns	ns	ns

Meeropbrengst bij hogere stikstofbemesting

Om een schatting te hebben van de stikstofbenutting van de verschillende gewassen in deze proef hebben we de meeropbrengst per kilo stikstofbemesting berekend voor de verschillende bemestingsniveaus. Dit wordt AEN genoemd (Agronomic Efficiency of applied Nitrogen = verschil in opbrengst gedeeld door verschil in N bemesting). Op grond van de AEN gaf mais de beste stikstofrespons met 52 kg droge stof meeropbrengst bij stap 0-60 kg N

per ha. Ook het structuurtype sorghum had een kleine toename bij 60 kg N bemesting, namelijk 10 kg ds per kg N, en 40 kg ds per kg N bij de stap van 60 naar 120 kg N per ha. Het zetmeeltype sorghum liet geen stikstofrespons zien.

N-mineraal

De N-mineraal gehalten gemeten bij de oogst volgden voor elk type de stikstofgift. De hoogste waarden zijn gemeten bij het zetmeeltype sorghum met een bemesting van 120 kg N per ha. De lage waarde bij het structuurtype sorghum voor N-mineraal komt mogelijk door stikstofopname in het wortelstelsel of door 'luxe' opname van stikstof, opname in het gewas wat niet wordt omgezet in biomassa. De reststikstof waarden zijn significant lager als bij de andere geteste rassen.

Voederwaarde

Mais had met 77% de hoogste verteringscoëfficiënt van de organische stof (VCOS), gevolgd door het zetmeeltype sorghum 68%. De verteerbaarheid van het structuurtype sorghum was met 60% duidelijk lager. De zetmeelgehalten volgen eenzelfde patroon, zowel mais als het zetmeeltype sorghum hadden een hoog zetmeelgehalte (432-449 g per kg ds voor mais en 296-317 g voor het zetmeeltype sorghum). Het structuurtype sorghum had een grotere variatie in het zetmeelgehalte en daar lag het zetmeelgehalte met 98-145 g per kg ds ook lager, zeker bij de proefvelden met 60kg N. De suikergehalten zijn bij zetmeeltype sorghum (56 g per kg ds) en structuurtype (68-81 g per kg ds) hoger als bij de mais.

N, P₂O₅ en K₂O opbrengsten

De stikstofopbrengst is berekend met de drogestofopbrengst en het stikstofgehalte van het geoogste gewas (het ruw eiwitgehalte van het geoogste gewas is het N-gehalte x 6,25). Het stikstofgehalte van sorghum was hoger dan van mais. De stikstofopbrengst volgt echter grotendeels dezelfde trend als bij de drogestofopbrengst: Het zetmeeltype (ras C7) had geen hogere stikstofopbrengst bij een hogere stikstofgift, het structuurtype (ras Suzy) liet weinig verschil zien tussen 0 en 60 kg N per ha, maar 120 kg N per ha gaf bijna een verdubbeling ten opzichte van 0 en 60 kg N. De fosfaat- en kaliopbrengsten per ha zijn berekend met de drogestofopbrengst en respectievelijk de P en K gehalte in het gewas (drogestofopbrengst x P gehalte x 2,29; drogestofopbrengst x K gehalte x 1,2). In de fosfaatopbrengst is te zien dat mais duidelijk meer fosfaat afvoert per hectare, ongeacht de bemesting. Bij de kaliopname door het gewas zijn er geen verschillen tussen type of bemesting.

3.4 Conclusies en perspectief

- Uit dit onderzoek blijkt dat stikstofbenutting van sorghum ten opzichte van mais lager is.
- Wel zorgt het structuurtype sorghum voor lagere N-mineraal gehalten in de bodem dan mais, ondanks de lagere stikstofopbrengst, hier speelt de ondergrondse

biomassa van het wortelstelsel en de hogere stikstofgehalten in de plant mogelijk een rol.

- Het N-mineraal niveau in de bodem bij oogst is bij alle behandelingen relatief laag.
- Het zetmeeltype sorghum heeft een hoger zetmeelgehalte en VCOS dan het structuurtype sorghum. Werkelijke verteerbaarheid in de pens moet in de toekomst met voedingsproeven worden vastgesteld.
- De stikstof en fosfaatopbrengst is het hoogst bij mais, bij kali is er geen verschil tussen mais en sorghum
- Vervolgstappen in de veredeling van sorghum hebben de uitdaging om de opbrengst en stikstofbenutting verder te verhogen.

4 Stikstofbenutting van Sorghum: vergelijking van 2 jaar bemestingsproeven

4.1 Inleiding

In twee achtereenvolgende jaren is er onderzoek gedaan naar de stikstofbenutting van sorghum, naar optimale bemesting voor sorghumteelt en naar beperking van uitspoelingsrisico's. Om een goed beeld te krijgen van de bevindingen zijn beide jaren samen geanalyseerd.

4.2 Opzet onderzoek

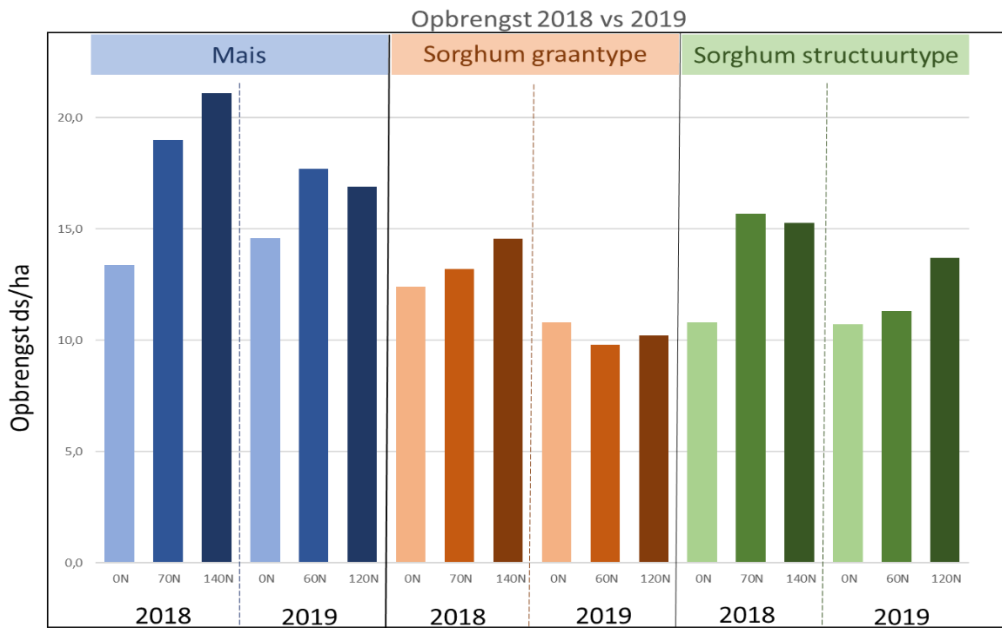
In beide jaren is er een experiment op gezet met twee sorghumrassen en maïs als referentie. Sorghum wordt onderverdeeld in zetmeeltypen (sorghumrassen die nijgen naar *Sorghum bicolor*) en structuurtypen (sorghumrassen die nijgen naar *Sorghum sudanese*). De twee sorghumrassen en de maïs werden geteeld in een gerandomiseerd proefveld met verschillende stikstof bemestingniveaus in vier herhalingen. In 2018 waren de stikstofbemestingsniveaus per hectare 0 kg stikstof (geen bemesting) 70 kg stikstof (halve dosering) en 140 kg stikstof, equivalent aan de stikstofnorm voor maïsteelt. Door de aanpassing van deze norm is het experiment aangepast in 2019 tot 0, 60 en 120 kilo stikstof per hectare. Beide jaren is de bemesting in de vorm van KAS gegeven, in 2018 is de bemesting in een keer gegeven in 2019 in twee keer.

4.3 Vergelijking resultaten 2018 en 2019.

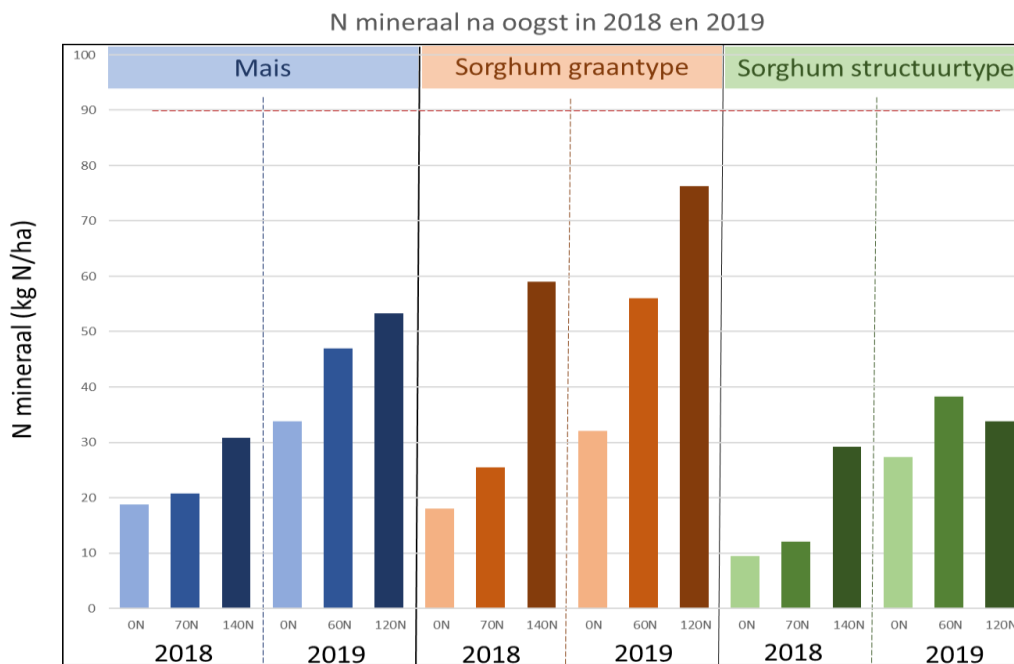
Als de cijfers van de bemestingsproef in 2018 worden afgezet tegen de resultaten uit 2019 is duidelijk dat de opbrengst over de hele linie hoger was in 2018 (zie Figuur 4.1), ook de gemiddelde voederwaarde was hoger, alle rassen en bemestingsniveaus samengenomen (zie Tabel 4.1). Door de hogere droge stof opbrengst in 2018 was ook de stikstofopbrengst hoger in dat jaar en bleef er minder N mineraal achter in de bodem na oogst.

Tabel 4.1: analyseresultaten bemestingsproeven 2018 en 2019, effecten zijn weergegeven in rood als $p < 0.05$, in grijs bij een trend (p waarde tussen 0.05 en 0.09) of in zwart als er geen significant effect is.

	2018 versus 2019	overall type effect?	overall bemestingseffect	overall wisselwerking type & bemesting
Opbrengst	2018 hoger ($p < 0.001$)	ja	ja	trend ($p > 0.06$)
N mineraal	2019 hoger ($p < 0.001$)	ja	ja	ja
VCOS	2018 hoger ($p < 0.02$)	ja	nee	nee
Zetmeel	geen verschil	ja	nee	nee
Stikstofgehalte	geen verschil	nee	ja	nee
Stikstofopbrengst	trend 2018 hoger ($p > 0.08$)	ja	ja	trend ($p > 0.07$)
wat is er getest?	alle data 2018 tegenover alle data 2019, testen effect van jaar	alle data 2018 en 2019 samengevoegd, testen effect van type	alle data 2018 en 2019 samengevoegd, testen effect van mestgift	alle data 2018 en 2019 samengevoegd, testen wisselwerking tussen type en mestgift



Figuur 4.1: Opbrengst in 2018 en 2019 van mais en de verschillende typen sorghum bij verschillende bemestingsniveaus



Figuur 4.2: N mineraal in 2018 en 2019 na oogst van de mais en de verschillende typen sorghum bij verschillende bemestingsniveaus

Effecten sorghumtype

Worden de resultaten van 2018 en 2019 samengenomen en per sorghumtype vergeleken dan is duidelijk dat de twee sorghumtypen en de mais onderling sterk verschillen in opbrengst, voederwaarde en zetmeel. Mais scoort het beste in opbrengst en voederwaarde. Qua opbrengst scoort het sorghum structuurtype goed, het gewas heeft echter minder zetmeel dan het sorghum zetmeeltype en de mais. Het sorghum zetmeeltype C7 blijft achter in de opbrengst maar geeft relatief veel zetmeel en een hoge VCOS.

Bemestingseffecten

Onafhankelijk van typenverschillen is er een duidelijk bemestingseffect, een hogere stikstofgift resulteert in een hogere opbrengst, een hogere stikstofopbrengst maar ook in een hoger N-mineraal gehalte in de bodem na oogst (zie Figuur 4.2). Dit is echter niet voor alle rassen even sterk. Het sorghum zetmeeltype C7 heeft geen sterke stikstofrespons, mais daarentegen reageert wel op een hogere mestgift.

Wisselwerking tussen sorghumtype en bemesting

Wanneer er wordt gekeken naar de wisselwerking tussen sorghumtype en mestgift is het opvallend dat de hoeveelheid N mineraal een significante interactie geeft (zie Tabel 4.1). Dit betekent dat de hoeveelheid N mineraal in de bodem afhangt van welk gewas of type er is geteeld en van de mestgift. Bij het sorghum structuurtype blijft er het minste N-mineraal in de bodem achter (zie Figuur 4.2).

Tabel 4.2: analyse resultaten bemestingsproeven 2018 en 2019 uitgesplitst per type, effecten zijn weergegeven in rood als $p < 0.05$, in grijs bij een trend (p waarde tussen 0.05 en 0.09) of in zwart als er geen significant effect is.

Gewas	Mais		Sorghum bicolor		Sorghum sudanhybride	
	N gift	jaar	N gift	jaar	N gift	jaar
Opbrengst (ton ds ha ⁻¹)	<0,001	ns	ns	<0.001	<0.002	<0.02
N-mineraal (kg N ha ⁻¹)	<0,009	<0,001	<0.001	<0.001	>0.05	<0.001
VCOS (%)	ns	<0,001	ns	<0.001	ns	<0.001
Zetmeel (g kg ds ⁻¹)	ns	<0,001	ns	ns	ns	<0.001
Stikstofgehalte (g kg ds ⁻¹)	>0.09	>0.05	ns	ns	<0.004	ns
Stikstofopbrengst (kg N ha ⁻¹)	<0.002	ns	ns	<0.007	<0.001	<0.006

Effecten per sorghumtype

Sorghum zetmeeltype: Naast de overall effecten van de experimenten in 2018 en 2019 is er ook per type gekeken naar de effecten van mestgift. Daarbij valt op dat bij het sorghum zetmeeltype, de bemesting nauwelijks effect heeft op de opbrengst. Wel geeft deze de hoogste opbrengst zonder bemesting en presteert het zetmeeltype vermoedelijk het beste onder armere omstandigheden. Op voederwaardeparameters had de bemesting geen effect. Alleen bij N mineraal is er een bemestingseffect te zien in het sorghum zetmeeltype, deze is het hoogst bij de hoogste bemesting. Waarschijnlijk valt het N-mineraalgehalte in de bodem hoger uit dan bij de andere rassen omdat dit niet is opgenomen door het gewas.

Sorghum structuurtype: Anders dan bij het sorghum zetmeeltype was er bij het sorghum structuurtype wel een stikstofrespons. Een hoger bemesting leidde tot een betere drogestofopbrengst en stikstofopbrengst. De verteerbaarheid en het zetmeelgehalte werden niet beïnvloed door de bemesting. Het N mineraal gehalte was in beide jaren het laagst bij het sorghum structuurtype en laat duidelijk minder N mineraal achter in de bodem dan mais of het sorghum zetmeeltype.

4.4 Conclusies en perspectief

- Beide jaren verschilden sterk van elkaar wat betreft opbrengst en stikstofbenutting, maar de rode draad was hetzelfde.
- Na twee jaar onderzoek blijkt dat stikstofbenutting van sorghum ten opzichte van mais lager is.
- Het zetmeeltype sorghum geeft een goede opbrengst zonder bemesting, maar reageert nauwelijks op extra mest. Dit maakt dit type juist geschikt voor gronden met een lager stikstofleverend vermogen. Let wel in beide jaren was er enkel 1 ras voor dit sorghumtype gebruikt. Andere rassen van het zetmeeltype kunnen anders reageren. Voor verder ontwikkeling richting opbrengst en stikstofrespons zou veredeling een rol kunnen spelen.
- Het zetmeeltype sorghum geeft beide jaren een zeer beperkte stikstofrespons. Het structuurtype sorghum geeft wel een duidelijke respons. Wel lijkt het optimum voor de bemesting tussen de 60 en de 120 kg N te liggen, lager dan mais
- Het structuurtype sorghum zorgt voor lagere N-mineraal gehalten in de bodem dan mais, ondanks de lagere stikstofopbrengst. Dit geldt voor beide structuurtypen die getest zijn. Een mogelijke verklaring is dat een deel van de stikstof in het wortelstelsel is opgenomen,
- Vervolgstappen in de veredeling van sorghum hebben de uitdaging om de rassen door te ontwikkelen en met name om de opbrengst en stikstofbenutting verder te verhogen.

5 Conclusies en perspectief

5.1 Resultaten van de bemestingsproeven t.o.v. internationale literatuur

- Sorghum geeft ook onder stikstoflimitatie goede opbrengst (Lemaire et al., 2006)
 - Het sorghum zetmeeltype dat niet bemest is geeft een goede opbrengst, dit geeft aan dat deze bevindingen overeenkomen met wat er in het onderzoek is gevonden en dat sorghum op schrale grond goed kan groeien.
- Sorghum heeft een goede bodemopname van stikstof (Thivierge et al., 2016)
 - We zien inderdaad dat het sorghum zetmeeltype zonder bemesting goed scoort qua opbrengst, dus onze onderzoeksresultaten komen overeen met wat er bekend is uit de literatuur.
- Sorghum heeft een hogere stikstofbenutting dan mais (Thivierge et al., 2015a)
 - In tegenstelling tot wat er in de literatuur gevonden is, is de stikstofbenutting in sorghum niet beter dan in mais. Mais heeft in onze proef in beide jaren de beste stikstofbenutting. Hierin zouden genetische aspecten van sorghum kunnen meespelen, mogelijk is hier een stap te maken in de veredeling.
- Sorghum heeft een 'luxe' opname van stikstof (Barbanti et al., 2006)
 - We zien inderdaad dat de stikstof opbrengst sterker stijgt bij hogere bemesting dan de drogestofopbrengst: dit geeft aan dat er inderdaad meer stikstof wordt opgenomen bij hoger aanbod wat wel in de plant opgenomen wordt maar niet omgezet wordt tot extra biomassa.
- De optimale bemesting voor sorghum is ras afhankelijk en ligt rond de 90 kg N per ha (Thivierge et al., 2015b)
 - Wij zien inderdaad rasverschillen in bemestingsbehoefte en indicaties dat de optimale bemesting lager ligt dan bij mais, ook hier speelt mogelijk een genetische component een rol.

5.2 Perspectief en vervolgonderzoek

- De resultaten van de hier gepresenteerde proef geven een beeld van welke bemesting passend is voor sorghumteelt. Er lijkt er een duidelijk verschil te zijn in bemestingsbehoefte tussen het geteste ras van het zetmeeltype en de geteste rassen van het structuurtype. Eenduidige conclusies zijn echter na twee jaar moeilijk te trekken, wel geven de resultaten een indicatie dat het bemestingsoptimum lager ligt dan bij mais, dat stikstofopname bij sorghum mogelijk langer doorgaat en dat de effecten mogelijk zowel type en ras afhankelijk zijn.
- Vervolgonderzoek naar bemesting van sorghum zou zich moeten richten op 1. de wisselwerking tussen het wortelstelsel en de bemesting enerzijds en 2. naar de opname bij verschillende mestsoorten anderzijds.
 1. Vanuit de literatuur is bekend dat wortellexudaten van sorghum effect kunnen hebben op de stikstofcyclus in de bodem en daarmee op de

beschikbaarheid van nutriënten. In hoeverre deze wisselwerking tussen het wortelstelsel effect heeft op de nutriëntenopname zou onderzoek moeten uitwijzen.

2. Doordat de beginontwikkeling bij sorghum traag verloopt en de stikstofopname bij sorghum langer door kan gaan dan mais is het gewas mogelijk gebaat bij geleidelijk vrijkomende stikstof. Mogelijk sluit dit aan bij het vrijkomen van stikstof uit drijfmest.

Referenties

- Thivierge, M. N et al. "Sweet pearl millet and sweet sorghum have high nitrogen uptake efficiency under cool and wet climate." *Nutrient cycling in agroecosystems* 102.2 (2015a): 195-208.
- Thivierge, M. N., Chantigny, M. H., Bélanger, G., Seguin, P., Bertrand, A., & Vanasse, A. (2015b). Response to nitrogen of sweet pearl millet and sweet sorghum grown for ethanol in eastern Canada. *Bioenergy research*, 8(2), 807-820.
- Barbanti, L., Grandi, S., Vecchi, A., & Venturi, G. (2006). Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), energy crops in the frame of environmental protection from excessive nitrogen loads. *European journal of agronomy*, 25(1), 30-39.
- G Lemaire, X Charrier, Y Hébert. Nitrogen uptake capacities of maize and sorghum crops in different nitrogen and water supply conditions. *Agronomie*, EDP Sciences, 1996, 16 (4), 231-246.
- Subbarao, G. V., Nakahara, K., Ishikawa, T., Ono, H., Yoshida, M., Yoshihashi, T., ... & Sahrawat, K. (2013). Biological nitrification inhibition (BNI) activity in sorghum and its characterization. *Plant and soil*, 366(1- 2), 243-259.